



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Artur Niinepuu

DIISLIKÜTUSED EESTI VABARIIGI TURUL

**DIESEL FUELS ON THE MARKET OF THE REPUBLIC OF
ESTONIA**

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: lektor Kaie Ritslaid, *MSc*

Tartu 2018

Eesti Maaülikool		LÜHIKOKKUVÕTE	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Artur Niinepuu		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Diislikütused Eesti Vabariigi turul			
Lehekülgi: 40	Jooniseid: 9	Tabeleid: 7	Lisasid: 0
<p>Osakond: Biomajandustehnoloogiate õppetool</p> <p>ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4.14. T370</p> <p>Juhendaja: lektor Kaie Ritslaid, <i>MSc</i></p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2018</p>			
<p>Töö eesmärgiks oli analüüsida kahte erinevat diislikütust ning hinnata nende kvaliteediomaduste vastavust Eesti Vabariigi standardile. Lisaks tuua välja kõik Eesti Vabariigis müügil olevad diislikütused nii maismaa kui ka meretranspordile.</p> <p>Töö teostamisel oli üheks katsekütuseks teise põlvkonna biokomponenti HVO sisaldav Neste ProDiesel ning teiseks tavaline fossiilne diislikütus. Katsetused viidi läbi Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi kütuselaboris. Kütuselaboris mõõdeti diislikütuste tihedus, destillatsioonikarakteristikud, kinemaatiline viskoossus, leekpunkt, hägustumispunkt, korrosiivsus vaskplaadikatsel ja veesisaldus ning arvutati tsetaaniindeks.</p> <p>Saadud katsetulemustest selgus, et mõlemad kütused on suvediislikütused, kuid biokomponenti HVO sisaldav diislikütus on parameetrite poolest parem kui tavaline fossiilne diislikütus. Katsetulemustest on näha, et biokomponenti sisaldavas diislikütuses on enam madalama keemistemperatuuriga fraktsioone, mis tagavad kütuse täielikuma põlemise ning mootori sujuvama töö, ka madalatemperatuurilised omadused on biokomponendiga kütusel paremad.</p> <p>Edasiarendusena saab tulevikus läbi viia ka mootorikatseid ning võrrelda mõlema kütuse kasutamise puhul mootori väljundparameetreid.</p>			
Märksõnad: diislikütus, HVO, ProDiesel, biodiisel, FAME			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		ABSTRACT	
Author: Artur Niinepuu		Curriculum: Engineering	
Title: Diesel Fuels on the market of the Republic of Estonia			
Pages: 40	Figures: 9	Tables: 7	Appendixes: 0
Department: Chair of Biosystems Engineering Field of research and (CERC S) code: 4.14. T370 Supervisors: lecturer Kaie Ritslaid, <i>MSc</i> Place and date: Tartu 2018			
<p>The aim of this thesis is to do tests with two different diesel fuels and evaluate their quality characteristics in accordance with the standard. In addition, write about all the diesel fuels used in the Republic of Estonia for both land and sea transport.</p> <p>In the given graduation thesis there were two diesel fuels examined and their parameters were compared with the established requirements. The first fuel that was tested, was biodiesel that contained the second generation bio component HVO and the second fuel was conventional fossil diesel fuel. The tests were carried out at the fuel laboratory of the Institute of Technology of Estonian University of Life Sciences. The measured parameters are density of fuels, fraction composition, kinematic viscosity, flash point, blur point, corrosivity and water containment. The cetane index was later calculated.</p> <p>From the test results obtained, it can be concluded that diesel fuel that contains biocomponent HVO is better than just a fossil diesel in terms of parameters. Test results showed that diesel fuel containing the biocomponent HVO had lower temperature fractions, that lead to more complete combustion of the fuel and smoother operation of the engine. The low temperature properties were found better on the diesel fuel containing biocomponent HVO than the fossil diesel.</p> <p>In the future there can be measurements made with both fuels in engine test laboratory, to see the difference in the engine output parameters.</p>			
Keywords: diesel fuel, HVO, ProDiesel, FAME, biodiesel			

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE	2
ABSTRACT	3
LÜHENDID JA TÄHISED	6
SISSEJUHATUS	7
1. DIISELMOOTORI KÜTUSED	9
1.1. Fossiilsed kütused ja nende tootmine	9
1.2. Biokütused	9
1.2.1. Biokütuste liigid	9
1.2.2. Biokütuste tootmine	10
2. SEADUSANDLUS	12
2.1. Standard diislikütusele EVS-EN 590:2013 + NA:2017	12
2.2. Standard biodiislikütusele EVS-EN 14214:2012+A1:2014	13
2.3. ISO Standard 8217 ja IMO Merekeskkonnakaitse Komitee MARPOL nõuded laevakütustele	15
3. EESTI VABARIIGI TURUL MÜÜDAVAD DIISLIKÜTUSED	18
3.1. Fossiilsed kütused	18
3.1.1. Diislikütus (7% biodiisli)	18
3.1.2. Erimärgistatud diislikütus	18
3.1.3. Kõrgkvaliteediline destilleeritud diislikütus MDO laevakütusena ning kahekomponentne MGO ja LNG segu meretranspordi kütusena	19
3.2. Biokütused	20
3.2.1. Neste ProDiesel	20
3.2.2. Biodiisel 100%	20
4. EKSPERIMENTAALNE OSA	22
4.1. Diislikütuse ja ProDiesli laboratoorsed analüüsid	22
4.1.1. Tihedus	22
4.1.2. Destillatsioonikarakteristikud	23

4.1.3.	Kinemaatiline viskoossus 40 °C juures.....	25
4.1.4.	Leekpunkt.....	26
4.1.5.	Hägustumispunkt	26
4.1.6.	Korrosiivne toime Cu-plaadi katsel	27
4.1.7.	Veesisaldus Karl Fischer tiitrimesega.....	27
4.1.8.	Tsetaaniindeksi arvutamine	28
4.2.	Katsetulemuste arutelu	29
KOKKUVÕTE		35
SUMMARY		36
KASUTATUD KIRJANDUS		37

LÜHENDID JA TÄHISED

Aktsiisimaks – Kaudne maks, mida rakendatakse tarbimise reguleerimiseks ja riigieelarve tulude saamiseks. Kütuse aktsiisimaksu reguleerib alkoholi-, tubaka-, kütuse- ja elektriaktsiisi seadus.

FAME – *Fatty Acid Methyl Esters* – rasvhapete metüülestrid

HVO – *Hydrotreated vegetable oil* – vesinikuga töödeldud taimeõli

MDO – *Marine Diesel Oil* – merediislikütus

MGO – *Marine Gas Oil* – meregaasiõli

PAH - *Polycyclic aromatic hydrocarbon* – polütsükiline aromaadne süsivesinik

PM – *Particulate matter* – tahke osake

ppm – *part per million* – üks osake miljoni osakese kohta

WWFC – *Worldwide Fuel Charter* – Ülemaailmne Kütuseharta – Euroopa, USA ja Aasia riikide autotootjate allkirjastatud kokkulepe kütuse kvaliteedinõuete kohta

PM₁₀ – heitgaasi osiste fraktsioon mõõtmetega 10 µm ja suuremad

PM_{2,5} – heitgaasi osiste fraktsioon mõõtmetega 2,5 µm ja väiksemad

SISSEJUHATUS

Diislikütused on olulised kütused kogu riigi majandamisel, sest nad katavad olulise osa energiavajadusest. Praegusel ajal on enamus diislikütustest naftapõhised. Euroopa Liidus on biokütuste osas seatud kaks eesmärki. Esimeseks eesmärgiks on katta 2020. aastaks taastuvenergia direktiivi 2009/28/EÜ järgi 10% taastuvkütuse tarbimisest biokütusega ning teiseks on kohustada kütusetarnijaid vähendama kütusekvaliteedi direktiivi 2009/30/EÜ järgi kasvuhoonegaaside heitmemahukust 2020 aastaks 6% [1]. Vedelkütuse seaduse uus redaktsioon, mis hakkas kehtima 01.05.2018, esitab nõuded nafta diislikütuste asendamiseks biokütusega energiasisalduse alusel nii, et alates 1. maist 2018 peab kütuseliiter sisaldama energiamahu järgi minimaalselt biokütust 3,1%, 1. aprillist 2019 6,4% ning 1. jaanuarist 2020 10%. Alates 1. jaanuarist 2019 peab Eestis müüdavas kütuseenergias olema teise põlvkonna biokütuse (HVO) osakaal diislikütuses vähemalt 0,5% ja esimese põlvkonna biokütuse (FAME) osakaal mitte üle 7%.

Naftakütustelt biokütusele üleminekul on mitmeid põhjusi: 1) ebastabiilne poliitiline olukord maailmas; 2) suures mahus kütusetarbimise kasv Hiinas ja Indias, mis viib mootorikütuste defitsiidi tekkele; 3) elukeskkonna õhupuhtuse tõstmise nõuete karmistumine. On teada, et diislikütuste heitgaasid sisaldavad erinevaid keskkonda saastavaid kahjulikke osakesi, nagu näiteks PM_{10} (*Particulate matter*), eriti kahjulikke tahmaosakesi $PM_{2.5}$ ning PAH (*Polycyclic aromatic hydrocarbon*). Uutes diiselmootoritega autodes on probleemid lahendatud tahmafiltri kasutuselevõtuga ja heitgaaside järelpuhastussüsteemidega. Eestis on sellega probleeme, kuna autopark on vananenud ning vanemate autode energiatarbimus on liiga suur ja sõidukite heitgaasid saastavad keskkonda rohkem kui uuemad diiselmootoritega sõidukid [2].

Biokütuste osakaalu tõstmisega kütustes on võimalik parandada õhukvaliteeti kogu maailmas. Biokütuse osakaalu suurenemine kuni 20% HVOga diislikütuses parandab diislikütuse põlemiskvaliteeti ja tõstab mootori jõudlust ning lisaks on ka madalatemperatuurilised omadused paremad kui puhtal fossiilsel diislikütusel.

Praegune rahvusvaheliselt kokku lepitud mõju kliimamuutuse ärahoidmiseks on temperatuuri tõusu hoidmine alla 2°C. Selleks, et seda eesmärki täita, on Eesti pikaajalise kliimapoliitika visioon vähendada kasvuhoonegaaside heidet vähemalt 80 protsenti aastaks

2050 võrreldes 1990. aasta tasemega. Selleks on koostatud kliimapoliitika põhialused aastani 2050 [3].

Antud lõputöö eesmärk oli katsetada kahte diiselmootori kütust, üheks oli fossiilne diislikütus ning teiseks teise põlvkonna biokomponenti (HVO) sisaldav Neste ProDiesel. Katsetuste eesmärgiks oli uurida Eestis müüdavate diislikütuste parameetreid ning välja selgitada, kas need vastavad diislikütusele esitatud kvaliteedinõuetele. Lisaks eelnevale oli eesmärgiks esitada kõik Eesti Vabariigi turule müügiks lubatud diiselmootorite kütused nii maismaa kui meretranspordile. Katsed viidi läbi Eesti Maaülikooli kütuselaboris erinevaid kütuse parameetrite määramiseks mõeldud seadmeid kasutades. Töö katsetulemuste arutelu võrreldakse kahe diislikütuse parameetreid ja tuuakse esile kütuste plussid ja miinused.

Lõputöö sisuline osa koosneb neljast peatükist. Esimene peatükk käsitleb erinevat liiki diiselmootorile mõeldud kütuseid. Teises peatükis tutvustatakse erinevatele diislikütustele esitatud standardeid. Kolmandas peatükis esitatakse erinevaid müügil- ning kasutuses olevaid diislikütuseid Eesti Vabariigis. Neljandas peatükis esitatakse katsemeetodid ja katsetulemused ning katsetulemuste arutelu.

1. DIISELMOOTORI KÜTUSED

1.1. Fossiilsed kütused ja nende tootmine

Fossiilkütused on tekkinud orgaaniliste jäänuste fossiliseerumisel väga pika aja jooksul. Levinumateks fossiilkütusteks on kivistüsi, nafta, maagaas, pruunsüsi, põlevkivi ning turvas. Neid kütuseid nimetatakse põhiliselt taastumatuteks, kuna inimkultuuri kestmisaeg on olnud üsna lühike võrreldes fossiilkütuste moodustumiseks vajaliku ajaga [4]. Fossiilkütuste kasutamine mõjub meie keskkonnale halvasti, kuna nende põletamine suurendab süsihappegaasi hulka atmosfääris, mis tugevdab atmosfääri kasvuhooneefekti. Lisaks sellele eraldub heitgaasidega õhku suur hulk saasteaineid, mis rikuvad välisõhu kvaliteeti.

Diislikütust toodetakse naftast, selleks kasutatakse kahte erinevat viisi, destilleerimist ja krakkimist. Destilleerimise puhul ei muutu süsivesinike struktuur, kuid krakkimisel muudetakse lõhustumise teel süsivesinike struktuuri. Naftat destilleeritakse pidevalt töötavates destillatsiooniseadmetes algul normaalarõhul, seejärel ülejääk vaakumis. Nafta kuumutatakse temperatuurini 330°C - 350°C ning pumbatakse atmosfäärirõhul töötavasse rektifikatsioonikolonni, kus diislikütuse erinevad süsivesinike fraktsioonid keevad välja 150°C - 360°C temperatuurivahemikus [5]. Antud meetodiga saab olenevalt nafta leiukohast 15% - 20% diislikütust, millele järgneb kütuse puhastamine ning lisandite manustamine. Lisaks diislikütusele saadakse destilleerimise teel veel ka bensiini, reaktiivmootorkütust ja masuuti.

1.2. Biokütused

1.2.1. Biokütuste liigid

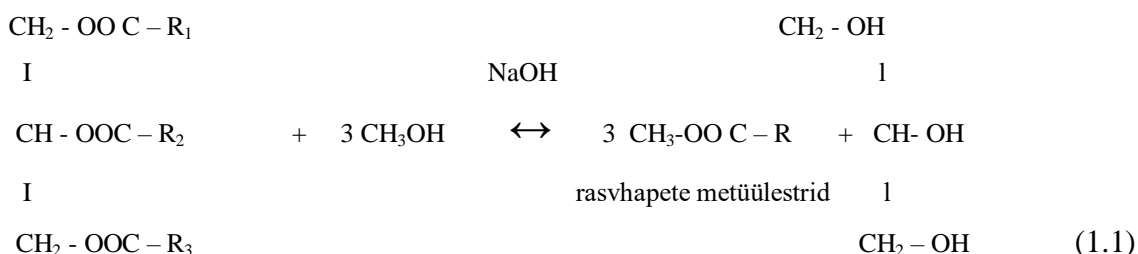
Kui fossiilkütused on mittetaastuvad kütused, siis biokütuseid nimetatakse taastuvateks kütusteks. Biokütus on energeetiliselt otstarbel kasutatav kütus, mis võib olla gaasiline, tahke või vedel. Biokütus sisaldab bioloogilist päritolu koostisosi. Populaarsemad tahkekütuse liigid on puitne mass, rohtne biomass ning prügi, gaasilistest biokütustest on populaarsemad biogaas, prügilagaas ja uttegaas ning vedelkütustest biodiisel (FAME – rasvhapete metüülestrid), HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*), bioetanool. Transpordis kasutatakse biodiisli, bioetanooli ning ProDiesli. Biodiisli tooraineks on tavaliselt taimsed õlid, fritüüriõlid, väheväärtuslikud loomsed rasvad, kala- ja kanarasvad ning uuritakse ka vetikaõli [6]. ProDiesel on kütus, mis on saadud taimeõli vesinikuga töötlemisel. HVOd

sisaldavat kütust Euroopa Liidus müüakse Neste tanklaketis Neste ProDiesel nimetuse all, mis sisaldab diislikütuses kuni 20% HVO-d. Biomassi kasvatamise ning kasutamisega kütusena ei kaasne olulist muutust atmosfääri süsihappegaasi kogustes. See, kui palju mõni biokütus süsinikdioksiidi eraldab, sõltub suurel määral kütuse tootmiseks kasutatud toorainest ning tootmismeetodist.

1.2.2. Biokütuste tootmine

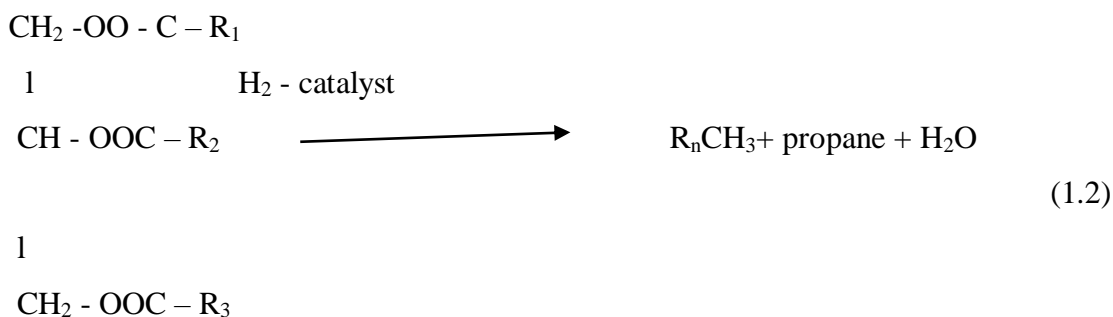
Biokütuste põhiline tooraine on taimne õli, kuid neid toodetakse ka väheväärtuslikest loomsetest rasvadest, kala- ja kanarasvadest. Enamlevinud tooraine on raps. Õli eraldamist rapsiseemnetest võib rakendada otse seemne kasvataja juures, mis on kallim kui tööstuslik meetod. Väiketootmise puhul õli pressitakse puhastatud rapsiseemnetest välja mehaanilise pressiga maksimaalselt 400°C juures. Tahked lisandid eraldatakse pressitud õlist settimise ning filtreerimise teel. Pressijääk ehk õlikook sobib hästi loomasöödaks. Tööstusliku õlipressimise puhul rapsiseeme kuivatatakse 9% niiskuseni, puhastatakse ning purustatakse. Seemned soojendatakse 80°C-ni ning pressitakse õli välja. Antud meetodiga saab viljast kätte kuni 75% õli. Väljapressitud õli filtreeritakse ning eraldatakse vesi [7].

Odavaim tööstuslik meetod 1. põlvkonna kütuse biodiisli saamiseks taimeõlist on transesterifitseerimine metanooliga katalüsaatori (NaOH) juuresolekul.



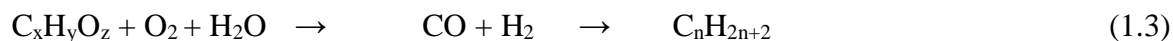
triglütseriidid glütserool

Vesinikuga töödeldud taimeõli HVO (*Hydrated Vegetable Oil*) on teise põlvkonna Neste Oil NExBTL tehnoloogia biokütus, mis saadakse alljärgneva skeemi alusel:



Meetod võimaldab saada väävlivaba, aroomaatikavaba, oksügenaatidevaba kütust. Tulemuseks on selge, parafiinne vedelik, mis on hea tsetaaniarvuga, vahemikus 85 – 99. Meetodi suureks eeliseks on see, et ei teki glütserooli ja tekkiva propaani põletamisel saab tootmisprotsessi läbiviimiseks soojusenergiat. Neste firma toodab seda suures mahus ja kasutab fossiilsesse diislikütusesse juurdelisamiseks.

Biokomponendi tootmiseks on veel Fischer- Tropschi sünteesi võimalus. See on biokütuste 2. põlvkonna tootmise tehnoloogia, mis võimaldab kasutada lähteainena biomassi. Tehnoloogiat kutsutakse *Biomass to liquid* (Biomass süsivesinikeks): Biomassi gaasistamine & Fischer-Tropsch – Omaduste parandamine lisandite abil (HDK)



Biomassi gaasistamine Fischer-Tropsch Kõrgekvaliteediline süntees + omaduste süsivesinik parandamine lisandite abil. Saadakse puhtad süsivesinikud, mis on segatavad fossiilsete kütusega igas vahekorras. Seni suuremahulist tööstusliku mahtu meetodil ei ole.

2. SEADUSANDLUS

2.1. Standard diislikütusele EVS-EN 590:2013 + NA:2017

EN 590 on Euroopa Standardikomitee poolt kirjutatud standard, mille järgi on määratud ning kehtestatud Euroopa Liidus ning mitmetes muudes Euroopa riikides müüdava diislikütuse parameetrid. Standard kehtib kütusele, mida kasutatakse kuni 7 mahu% rasvhappe metüülestreid sisaldava diislikütuse jaoks konstrueeritud diiselmootoriga sõidukites. Antud standard määrab ära ka katselised meetodid erinevate kütuseparameetrite leidmiseks. Iga paari aasta tagant muudetakse antud standardi parandustega kütusele esitatud nõudeid, selleks et kütused oleksid keskkonnasõbralikumad. Antud standardi põhieesmärgiks on siiani olnud kütuse väävlisisalduse vähendamine [8].

Standardiga EVS-EN 590 määratakse lisaks väävlisisaldusele ära ka muud kütuse parameetrid nagu näiteks, tsetaaniindeks, tsetaaniarv, tihedus 15°C juures, polütsüklilised aromaatsed süsivesinikud, leekpunkt, süsinikjääk, tuhasisaldus, veesisaldus, korrosiivsus vaskplaadikatsel, oksüdatsiooni stabiilsus, viskoossus 40°C juures, destillatsiooni karakteristikud, rasvhapete metüülestri sisaldus. Iga parameetri leidmiseks on oma määratud katsemeetod, mida peab läbi viima, et leida täpne kütuse kvaliteedinäitaja väärtus.

Tabel 2.1. Diislikütuse nõuded [9]

Näitaja	Mõõtühik	Nõue	
		min	max
Tsetaaniarv		51,0	
Tsetaaniindeks		46,0	
Tihedus temperatuuril 15°C	kg/m ³	820,0	845,0
Polütsükliliste aromaatsete süsivesinike sisaldus	massi%		8,0
Väävlisisaldus	mg/kg		10,0
Mangaanisisaldus	mg/l		2,0
Leekpunkt	°C	>55,0	
10% destillatsioonijäägi koksiarv	massi%		0,30
Tuhasisaldus	massi%		0,010
Veesisaldus	% (m/m)		0,020
Tahkete osiste sisaldus	mg/kg		24
Korrosiivsus vaskplaadikatsel (3h temperatuuril 50°C)	klass	klass 1	
Rasvhapete metüülestri (FAME) sisaldus	mahu%		7,0
Oksüdatsioonistabiilsus	g/m ³ h	20	25
Määrimisvõime, kulumisjälje diameeter (WSD) temperatuuril 60°C	µm		460

Tabel 2.1. järg

Näitaja	Mõõtühik	Nõue	
		min	max
Viskoossus temperatuuril 40°C	mm ² /s	2,000	4,500
Destillatsiooni-karakteristikud			
250°C juures destilleerub	mahu%	85	<65
350°C juures destilleerub	mahu%		
95 mahu% destilleerub temperatuuril	°C		360

Tabel 2.2. Kliimast olenevad nõuded talve- ja suveperioodil [9]

Kliimast olenevad nõuded talveperioodil			
Näitaja	Mõõtühik	Nõue	
		min	max
CFPP (külma filtri ummistuspunkt)	°C, max		-26
Hägustumispunkt	°C, max		-16
Tihedus temperatuuril 15°C	kg/m ³	800,0	845,0
Viskoossus temperatuuril 40°C	mm ² /s	1,50	4,00
Tsetaaniarv (EL)	min	51,0	
Tsetaaniindeks	min	46,0	
Destillatsiooni-karakteristikud			
180°C juures destilleerub	mahu%	95	10
340°C juures destilleerub	mahu%		

Kliimast olenevad nõuded suveperioodil			
Näitaja	Mõõtühik	Nõue	
		min	max
CFPP (külma filtri ummistuspunkt)	°C, max		-5

Tabelites 2.1. ja 2.2 on välja toodud diislikütuse nõuded nii talvisele kui ka suvisele diislikütusele. Kuna Eestis langeb talvel õhutemperatuur üsna madalale muutuvad ka talvisele diislikütusele esitatud nõuded. Kui kütus ei vasta talvise diislikütuse nõuetele, võivad talvel diislikütuses parafiinid hakata kristalliseeruma, mis viib kütusefiltrini ning torustiku ummistumiseni ning mootorisüsteemis võib katkeda kütuse juurdevool.

2.2. Standard biodiislikütusele EVS-EN 14214:2012+A1:2014

EN 14214 on Euroopa Standardikomitee avaldatud standard, mis kirjeldab rasvhapete metüülestrite ehk FAME kõige levinumate biodiisli tüüpide nõudeid ning katsemeetodeid. Standard kehtib turustatavatele ja tarnitavatele rasvhapete metüülestritele (FAME), mida kasutatakse kas 100% konsentratsioonis diislikütuse või kütteõlina või destilleeritud kütuse segukomponendina vastavalt EN 590 ja kütteõli nõuetele. Biodiislit võib kasutada

diiselmootorites, mis tootja standardi järgi võivad antud kütust kasutada. Biodiislit on võimalik toota ka muude alkoholide abil nagu näiteks etanool, millest saab rasvhapete eetüülestreid, kuid seda liiki biodiislit ei kohaldata standardi EN 14214 suhtes, kuna see kehtib ainult metüülestrite kohta ehk metanooliga toodetud biodiisli kohta. Antud standardil on erinevaid versioone, mis tuleneb sellest, et eri riikides on erinev kliima ning suurt rolli mängivad just madalatemperatuurilised omadused. EVS-EN 14214 standardis on Biodiisli segud tähistatakse tähega B, millele järgneb number, mis näitab biodiisli osakaalu protsenti kütuses. Näiteks B100 on puhas biodiisel, kuid B50 tähendab, et kütus sisaldab 50% biodiislit ja 50% fossiilset diislikütust. Standardiga EVS-EN 14214 määratakse ära erinevad kütuse parameetrid ning katselised meetodid nende määramiseks [10]. Parameetrite poolest on biodiislile lisaks fossiilse diislikütuse parameetritele võimalik määrata biodiisli sünteesi õnnestumisest ja õli enda omadustest tulenevad näitajad nagu estrite sisaldus, sulfaatne tuhasisaldus, happearv, joodarv, linoleenhappe metüülestri sisaldus, polüküllastumata metüülestrite sisaldus, metanooli sisaldus, mono-, di- ja triglütseriidide sisaldus ning vaba glütseriini sisaldus.

Tabel 2.3. Rapsmetüülestritele esitatud nõuded [9]

Näitaja	Mõõtühik	Nõue	
		min	max
FAME-sisaldus	massi%	96,5	
Tihedus temperatuuril 15°C	kg/m ³	860	900
Viskoosus temperatuuril 40°C	kg/m ²	3,50	5,00
Leekpunkt	°C	101	
Tsetaaniarv		51,0	
Korrosiivsus vaskplaadikatsel (3h temperatuuril 50°C)	klass	klass 1	
Oksüdatsioonistabiilsus temperatuuril 110 °C	h	8,0	
Happearv	mg KOH/g		0,50
Joodiarv	g joodi/100g		120
Linoleenhappe metüülester	massi%		12,0
Polüküllastumata (vähemalt 4 kaksiksidet) metüülestrite sisaldus	massi%		1,00
Metanoolisisaldus	massi%		0,20
Monoglütseriidisisaldus	massi%		0,70
Diglütseriidisisaldus	massi%		0,20

Tabel 2.3. järg

Näitaja	Mõõtühik	Nõue	
		min	max
Triglütseriidisisaldus	massi%		0,20
Vaba glütserooli sisaldus	massi%		0,02
Glütserooli üldsisaldus	massi%		0,25
Veesisaldus	mg/kg		500

Tabelis 2.3 on esitatud nõuded FAME ehk rapsmetüülestritele. Kui võrrelda antud tabelit diislikütusele esitatud nõuete tabeliga, siis võib märgata mitmeid erinevusi nõutud parameetrites.

2.3. ISO Standard 8217 ja IMO Merekeskkonnakaitse Komitee MARPOL nõuded laevakütustele

ISO Standard 8217 spetsifitseerib neli destilleeritud kütust (tabel 2.4.), kolm kergemat DMX, DMA ja DMB, mida kasutatakse ilma erilise töötluseta ja 15 setetega kütust, mis vajavad kuumutamist selleks, et vähendada nende viskoossust ja tihedust, tavaliselt tsentrifuugitakse, et eraldada vett ja mehaanilisi osiseid (võõrkehi) enne kasutamist mootoris.

Tabel 2.4. Nõuded destilleeritud merekütustele [9]

Näitaja	Määr	DMX	DMA	DMB	DMC
Välimus		läbipaistev +10 ja 25°C vahel	läbipaistev +10 ja 25°C vahel	-	-
Tihedus 15 °C juures, kg/m ³	max	-	890,0	900,0	920,0
Viskoossus 40 C, mm ² /s (cSt)	min max	1,4 5,50	1,5 6,00	- 11,0	- 14,0
Leekpunkt, °C	min	43	60	60	60

Tabel 2.4. järg

Näitaja	Määr	DMX	DMA	DMB	DMC
Hangumispunkt (ülevalt), °C					
talvine	max	-	-6	0	0
suvine	max	-	0	6	6
Hägustumispunkt, °C	max	-16	-	-	-
Väävlisisaldus, massi%	max	1,0	1,5	2,0	2,0
Tsetaaniarv	min	45	40	35	-
Koksiarv (mikromeetod), mahu% destill.jäägist, massi%	max	-	-	0,3	2,5
Tahked osised, massi%	max	-	-	0,07	-
Kogu sediment, massi%	max	-	-	-	0,1
Vaba vee sisaldus, mahu%	max	-	-	0,3	0,3
Vanaadiumi sisaldus, mg/kg	max				100
Alumiinimi + räni sisaldus, mg/kg	max				25

Laevadelt lähtuvale atmosfäärisaastele on piirangud seatud Rahvusvahelise Merendusorganisatsiooni (IMO) ja Euroopa Liidu (EL) poolt. Kõige kaalukamad regulatsioonid on kehtestatud IMO MARPOL rahvusvahelise konventsiooniga merereostuse vältimiseks laevadelt MARPOL 73/78, mis IMO Merekeskkonnakaitse Komitee erinevate otsuste kaudu reguleerivad laevadelt lähtuvate kahjulike saastete, sh. atmosfäärisaaste heitkoguste nagu SO_x, ja NO_x piirnorme ning nende rakendamise tingimusi. IMO MARPOL konventsiooni ja EL väävlidirektiivi alusel on kehtestatud

Euroopas SO_x heitkoguste kontrolli piirkonnad (SECA), mille hulka kuuluvad Põhja-Ameerika rannik, Läänemeri, Põhjameri ja Inglise kanal. Alates 1. jaanuarist 2015 kasutavad laevad kasutama kütust väävlisisaldusega <0,1% massist (või sellega võrdväärsete SO_x vähendamist tagavate tehniliste meetmete rakendamine). SECA aladel kehtestatud nõuded puudutavad vaid piiratud hulka laevu, siis 2020. aastast kavandatakse laevakütuste väävlisisalduse piiramist globaalselt kuni 0,5 massi%, mis toob kaasa võimsa stiimuli LNGle kiiremaks üleminekuks [11].

Parimaid võimalusi asendada raskeid kütteõlisid pakuvad nn. kahekütuselised mootorid laevadele. Neid mootoreid käivitatakse vedelkütusel ja LNGle saab sujuvalt üle viia koormustel üle 25%, aga võimaldavad töötada ka segarežiimidel gaasi ja vedelkütuse erinevate vahekordadega ning tõrgete ilmnemisel gaasisüsteemis läheb mootor automaatselt tavapärasele diiselmootori režiimile MGO (Marine Gas Oil) kasutades.

Keskkonnaministri määruse 21.06.2013 nr 45 § järgi on siseveelaevades ja väikelaevades lubatud kasutada gaasiõlisid, kui nende väävlisisaldus ei ületa 10 mg/kg (0,001% massist). See tähendab, et laevadel, mis randuvad peavad kasutama EL nõuete järgi diislikütust väävlisisaldusega kuni 10 mg/kg (nagu autokütustelgi). Kui sõidavad avavetel, siis peavad kasutama logiraamatut kütuse vahetamise kohta [9].

Laevakütus määruse nr 45 tähenduses on igasugune laeval kasutamiseks määratud ja laeval kasutatav toornaftast, põlevkiviõlist või muust toorainest saadud vedelkütus, kaasa arvatud toornaftast saadud vedelkütus, mida kasutatakse siseveelaevadel ja väikelaevadel, nagu on määratud direktiivides 94/25/EÜ ja 97/68/EÜ. [12, 13] Laevakütus hõlmab ka järgmisi kütuseid:

- 1) laeva diislikütus – laevakütus, mille viskoossus ja tihedus jääb käesoleva määruse lisas 3 esitatud DMB ja DMC kvaliteediklassi viskoossuse ning tiheduse raamidesse (eespool toodud tabeli 2.1 nõuetele)
- 2) laeva kerge kütteõli – laevakütus, mille viskoossus ja tihedus jääb käesoleva määruse esitatud DMX ja DMA kvaliteediklassi viskoossuse ning tiheduse raamidesse.

3. EESTI VABARIIGI TURUL MÜÜDAVAD DIISLIKÜTUSED

3.1. Fossiilsed kütused

3.1.1. Diislikütus (7% biodiislit)

1. maist 2018 hakkas kehtima nõue biokütuse kasutamise kohta fossiilses diislikütuses, mille sisaldus võib olla kuni 7%, kuid kohustuslik biokütuse osa peab olema energiasisalduse alusel vähemalt 3,1%. Antud kütuse puhul lisatakse fossiilsesse diislikütusesse biodiislit (FAME). FAMEt pole talvel võimalik puhta kütusena kasutada, kuna sellel on probleeme külmakindluse ning lisaks aastaringselt ka säilivusega. FAMEt kasutataksegi just tema puuduste pärast segatuna fossiilkütusesse ning selle osakaal jääb kuni 7%. Kuni 7% biokütuse sisaldusega diislikütust sobib kasutamiseks kõikides sõiduautes [14]. Üle 7% biokomponenti FAMEt sisaldav kütus nagu näiteks B20 või B100 sobib modifitseeritud mootoritesse.

3.1.2. Erimärgistatud diislikütus

Eesti tanklakettides müüakse ka erimärgistatud diislikütust, mis on Maksu- ja Tolliameti järelevalve all värvainega märgistatud diislikütus. Seda nimetatakse ka nn siniseks kütuseks. Antud kütus maksustatakse tavapärastest diislikütusest madalama aktsiisimääraga (133 Eur/ 1000 liitri kohta; tavadiislikütusel 563 Eur/1000 liitri kohta). Erimärgistatud kütust on lubatud kasutada alates 17.03.2015 Vedelikütuste erimärgistamise seaduse järgi ainult põllumajanduses ja kutselisel kalapüügil. Lubatud on kasutada põllumajanduses töötavates masinates, põllumajanduses kasutatavates kuivatites põllumajandustoodete kuivatamiseks. Mujal kasutamine on keelatud ning karistatav [15]. Seega põllumajanduses tohib erimärgistatud diislikütust kasutada ainult masinates, traktorites ning liikurmasinates. Teistes põllumajanduses kasutatavates mootorsõidukites ei ole eriotstarbelise diislikütuse kasutamine lubatud. Liiklusseaduses on lahti seletatud, et masina alla ei kuulu mootorsõiduk ning vee- ja raudteesõiduk. Kuivatites võib erimärgistatud diislikütust kasutada sõltumata sellest, kas tegemist on paikse kuivati või mobiilse kuivatiga.

3.1.3. Kõrgkvaliteediline destilleeritud diislikütus MDO laevakütusena ning kahekomponentne MGO ja LNG segu meretranspordi kütusena

Laevanduses on kasutusel erinevad kütused. Kasutusel on raske kütteõli, madala väävlisisaldusega kütteõli ning diisliõli. Lisaks sellele on kasutusel ka gaasiõli, mis on omadustelt lähedasem autodiiselmootori kütusega kui masuudiga, kuid märksa madalama kvaliteediga kui diislikütus. Täpne nimetus on antud kütusel mere gaasiõli ehk MGO (Marine Gas Oil). Gaasiõli ning masuudi segu nimetatakse mere diislikütuseks ehk MDOKs (Marine Diesel Oil).

Mere diislikütus koosneb mitmesugustest destillaatide segudest nagu mere gaasiõlist ning raskest kütteõlist. Erinevalt tavalisest diislikütusest, ei saa antud diislikütust puhtalt destilleerimise teel ning tootmisprotsess vajab erinevate laevakütuste segamise protsessi. Segamisel kasutatakse erinevaid segamissuhteid ning mere diislikütusel on erinevaid liike. Kui segus on väike osa rasket kütteõli, liigitatakse see vahepealseks kütteõliks, kuid kui raske kütteõli osakaal on suurem, siis liigitatakse see ikkagi puhta raske kütteõli alla. Mere diislikütuse värvus ulatub helepruunist kuni mustani. Raske kütteõli ladustamisel peab seda ka kuumutama, kuid mere diislikütust ei pea. Mere diislikütus on suurema tihedusega kui tavadiislikütus. Antud kütust kasutatakse mitmetes erinevates mootorites. Näiteks kasutatakse mere diislikütust väikestes keskmise kiirusega laevamootorites, abijõuseadmetes ning väga suurte laevade abimootorite toiteks. Mõnikord kasutatakse kerge ja vähese väävlisisaldusega laeva diislikütust suuremates mootorites siis, kui ületatakse rangemate heitkoguste piirväärtusega ala [16]. Antud ala ületamisel minnakse tagasi üle kõrgema heitkogusega laevakütusele.

Meregaasiõli on merekütus, mis koosneb ainult destillaatidest. Destillaatideks on toorõli komponendid, mis aurustuvad fraktsioneerival destillatsioonil ning seejärel kondenseeritakse need gaasilisest faasist vedelateks fraktsioonideks. Meregaasiõli on sarnane diislikütusele, kuid tema tihedus on kõrgem. Värvuselt on meregaasiõli läbipaistev. Kui meregaasiõli kasutatakse siseveeteedel, siis lisatakse sellele punast värvainet, et madalalt maksustavat meregaasiõli ei väärkasutataks. Meregaasiõli kasutatakse väiksemates keskmisekäigulistest ning kiirekäigulistest diiselmootorites [17]. Seda kasutatakse kalapüügi mootorpaatides, väiksemates praamides ning puksiirides.

Meregaasiõli koosneb kergematest destillaatidest ning selle tulemusel on ka viskoossus madalam ja tema pumbatavus küttesüsteemis 20°C juures lihtsam kui raske kütteõli puhul. Meregaasiõli kasutamisel diiselmootorites on heitgaaside hulgas vähem tahkeid osiseid ning tahma. See tagab puhtamad heitgaasid.

3.2. Biokütused

3.2.1. Neste ProDiesel

Alates 2017. aasta aprillist hakati Eestis müüma taastuvkomponendiga HVO diislikütust. Neste ProDiesel on taastuvkomponendiga kütus, mis on toodetud taimsetest rasvadest ning õldest. Sellist diislikütust müüb Eestis ainukesena Neste tanklakett ning toodetav kütus sisaldab vähemalt 15% taastuvtoorainest. Kütuse koostises sisalduv taastuvtoorainest valmistatud komponent peaks müüja sõnul vähendama kütuse heitkoguse hulka 20% võrra. ProDiesel'iga tehtud katsed näitavad, et süsinikdioksiidi teke kütuse põlemisel on väiksem kui tavakütusel ning ta edestab tavadiislikütust kümne olulise näitaja poolest. Hetkel on ProDiesel ainus kütus maailmas, mis vastab Ülemaailmse Kütuseharta (*World Wide Fuel Charter*) rangeima, 5. kategooria nõuetele. Soome tehniliste uuringute keskuses VVT ja Tampere rakendusteaduste ülikoolis tehtud katsed näitasid, et ProDiesel'il on puhaste fossiilsete kütuste ees mitmeid eeliseid. Katsetulemused näitasid, et biokomponendiga diislikütus vähendab kütusekulu kuni 5%, tagab kuni 4% suurema mootori võimsuse ning vähendab summutist väljapaiskuvate saasteainete nagu lämmastikoksiidide, süsivesinike ja tahkete osakeste hulka [19].

HVO tootmisprotsessid põhinevad vesinikuga töötlemisel, kus vesinik eemaldab hapniku triglütseriidist (taimeõlist) [18]. Tehnoloogia suureks plussiks on see, et täiendavaid kemikaale, nagu näiteks metanool FAME tootmiseks, pole vaja. HVO tootmisel ei teki kõrvalsaadusena glütseroole. HVO tootmisel tekib kõrvalsaadusena propaan (C_3H_8), mida kasutatakse soojusenergia saamiseks.

3.2.2. Biodiisel 100%

Biodiisli valmistatakse taimsetest õldest, väheväärtuslikest loomsetest rasvadest ja kana-, kalarasvadest või ümbertöödeldud kasutatud toiduõlist. Üks liik on taimeõlist metanooliga esterdamise teel saadud metüülestriite segu. Taimeõli esterdamise teel on võimalik taimeõli muuta omadustelt sarnasemaks naftast toodetud diislikütusega. Põhiliselt kasutatakse

100% biodiisli tootmiseks rapsiõli, kuid on võimalik kasutada ka muid taimi nagu näiteks sojauba. Biodiisli tootmiseks saadud taimi saab kasvatada korduvalt ning tänu sellele peetakse antud kütust taastuvaks energiaallikaks [20].

100% biodiislit on võimalik kasutada ainult modifitseeritud diiselmootorites. Selleks annab loa sõiduki tootnud tehase käsiraamat. Biodiislit võib segada ka fossiilse diislikütusega, kuid biokütusele üleminekul võib esineda probleeme. Mootorite puhul, mis on tavaliselt töötanud naftast toodetud diislikütusega, võib esmakordne biodiisli kasutamine põhjustada kütusefiltri ummistust. See on tingitud sellest, et kogu küttesüsteemi kogunenud mustus vallandub ning selle kogus võib olla suurem kui kütusefiltri puhastusvõime. Lisaks sellele võib biodiisel kahjustada vanemate mootorite kummidetaile nagu näiteks voolikuid ning need tuleks biodiisli kasutamisel välja vahetada biodiislikindlate detailide vastu. Uuematel mootoritel on enamasti kasutusel kummidetailid, mis on mõeldud kasutamiseks ka biodiisliga. Biodiisli külmakindlus ilma lisanditeta on halvem kui fossiilsetel kütustel. See jääb vahemikku $+20^{\circ}\text{C}$ kuni -15°C . Külmakindluse tõstmiseks võib kasutada spetsiaalseid manuseid külmakindluse tõstmiseks või segada biokütust fossiilse talvise kütusega. Manuste lisamisel on võimalik külmakindlust tõsta kuni -30°C -ni [20]. Biodiisel peab vastama Eesti Vabariigi kütuse standardile EVS-EN 14214 nõuetele.

Võrreldes teise põlvkonna biokomponenti sisaldava diislikütusega on biodiisel oma omaduste poolest halvem, kuna tema tootmiseks kasutatakse metanooli, kuid tootmisprotsessis ei eraldata kütusest hapnik, kuid HVO tootmisel eraldatakse hapnik vesiniku abil. Hapniku eraldamine vesiniku abil võimaldab saada puhtaid süsivesinikke, mis on kasutatavad puhta diislikütusena ning on ka segatavad fossiilse kütusega igas vahekorras. Hapnik suurendab kütuses oksüdatsiooni, mis viib saastumiseni. FAME tootmisel peab alati jälgima ka toodetud kütuse kvaliteeti, et määrata ära kas kütus on üldse kasutuskõlblik.

4. EKSPERIMENTAALNE OSA

4.1. Diislikütuse ja ProDiesli laboratoorsed analüüsid

4.1.1. Tihedus

Kütuse tihedus ρ , on ruumala ühiku mass valitud temperatuuril. Tiheduse mõõtühikuks on SI süsteemis kg/m^3 .

Tiheduse mõõtmine teostati toatemperatuuril EN ISO 3675 järgi diislikütustele ettenähtud ASTM Hydrometer spec. gravity for petroleum products 85H-62 mõõtepiirkonnaga 0,800-0,850 g/cm^3 kasutades [21]. Temperatuur mõõdeti digitaalset ThermoProbe TL-1A andurit kasutades. Tihedus arvutati 15 °C juurde, sest kütuse spetsifikatsioon nõuab tiheduse esitamist SI-süsteemis 15 °C juures. Ümberarvutamiseks kasutati valemit

$$\rho_{15} = \rho_t + \lambda(t - 15), \quad (4.1.)$$

kus ρ_{15} - standardtihedus 15 °C juures;

ρ_t - uuritava proovi tihedus temperatuuril t ;

t - temperatuur tiheduse määramise ajal;

$\lambda(\gamma)$ - paranduskoefitsient e- tegur tiheduse temperatuurisõltuvuse jaoks (IP 160/99).

Tabel 4.1. Paranduskoefitsiendid tiheduse temperatuurisõltuvuse jaoks (IP 160/99)

Tihedus 15 °C, g/ml Relatiivne d 15/4 °C	Korrektsooni koefitsient °C kohta	Tihedus 15 °C, g/ml Relatiivne d 15/4 °C	Korrektsooni koefitsient oC kohta
0,5967-0,6049	0,00105	0,7422-0,7534	0,00081
0,6050-0,6133	0,00103	0,7535-0,7646	0,00079
0,6134-0,6219	0,00101	0,7647-0,7757	0,00078
0,6220-0,6319	0,00099	0,7758-0,7866	0,00076
0,6320-0,6418	0,00097	0,7867-0,7984	0,00074
0,6419-0,6529	0,00095	0,7985-0,8020	0,00072
0,6530-0,6648	0,00094	0,8021-0,8279	0,00070
0,6649-0,6773	0,00092	0,8280-0,8594	0,00069
0,6774-0,6897	0,00090	0,8595-0,9245	0,00067
0,6898-0,7023	0,00088	0,9246-1,0243	0,00065

Tabel 4.1. järg

Tihedus 15 °C, g/ml Relatiivne d 15/4 °C	Korrektsooni koefitsient °C kohta	Tihedus 15 °C , g/ml Relatiivne d 15/4 °C	Korrektsooni koefitsient oC kohta
0,7024-0,7164	0,00087	1,0244-1,0742	0,00063
0,7165-0,7298	0,00085	1,0743-1,1241	0,00061
0,7299-0,7421	0,00083		

Tiheduse arvutamine 1. Diislikütus

$$\rho = 833,5 \text{ kg/m}^3, t = 19,81 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{15} = \rho_t + \lambda(t - 15) = 833,5 + 0,69(19,81 - 15) = 836,8 \text{ kg/m}^3$$

2. Neste ProDiesel

$$\rho = 820,5 \text{ kg/m}^3, t = 23,67 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{15} = \rho_t + \lambda(t - 15) = 820,5 + 0,00070(23,67 - 15) = 826,6 \text{ kg/m}^3$$

Tiheduste arvutamisel 15°C saadi kätte standardis nõutud tiheduste väärtused. Diislikütuse tihedus 15°C juures on 836,8 kg/m³ ning Neste Pro Diesel tihedus 15°C juures 826,6 kg/m³.

4.1.2. Destillatsioonikarakteristikud

Kuna diislikütused koosnevad paljudest orgaanilistest ühenditest, millel ei ole kindlat keemistemperatuuri, siis iseloomustatakse neid keemistemperatuuri alguse ja fraktsioonkoostisega.

Fraktsioonkoostis on üksikute süsivesinikfraktsioonide väljakeenud maht kindlal temperatuuril.

Proovi fraktsioonkoostis määratakse destillatsiooni teel võttes kolbi 100 ml kütust, kuumutades kütust ja jahutamise teel kondenseeritakse kütus vastuvõtusilindrisse. Registreeritakse kütuse keemistemperatuuri algus ja lõpp ning temperatuurid, mille juures vastavad mahud kondenseeruvad.

Analüüsid teostati EN ISO 3405 järgi kasutades Koehler Instrument destillatsiooni seadet, mudel K45090. [22]



Joonis 4.1. Koehler Instrument destillatsiooniseade.

Tabel 4.2. Diislikütuste destillatsiooni karakteristikud

Näitaja	Ühik	DK	Neste Pro Diesel
Keemise algus	°C	133	130
10 mahu% aurustunud	°C	209	211
20 mahu% aurustunud	°C	234	232
30 mahu% aurustunud	°C	253	247
40 mahu% aurustunud	°C	271	261
50 mahu% aurustunud	°C	285	273
60 mahu% aurustunud	°C	298	283
70 mahu% aurustunud	°C	313	293
80 mahu% aurustunud	°C	326	304
90 mahu% aurustunud	°C	342	319
Destilleerub 180 °C juures	%	4	4
Destilleerub 250 °C juures	%	28	32
Destilleerub 350 °C juures	%	94	-
95 mahu% destilleerub temperatuuril	°C	353	329
Keemistemperatuuri lõpp	°C	359	334
Destilleerub, mahu%	%	98	98
Destillatsioonijääk, mahu%	%	1,9	1,7
Kaod, mahu%	%	0,1	0,3

Tabelis 4.2 on esitatud diislikütuste destillatsiooni karakteristikud. Tabelist on näha seosed keemistemperatuuri ning destilleerunud mahu% vahel. Tulemused on saadud Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi kütuselaboris tehtud katsetega.

4.1.3. Kinemaatiline viskoossus 40 °C juures

Kinemaatiline viskoossus on kütuse voolavust iseloomustav näitaja. See on vedeliku omadus avaldada vastupanu tema osakeste vastastikusele liikumisele välise jõu toimet.

Kinemaatilise viskoossuse määramiseks on esitatud standard EN ISO 3104 [23].

Diislikütuse viskoossus määrati Cannon -Fenske Routine kapillaarviskosimeetriga, mille kapillaari läbimõõt on 0,62 mm ning viskosimeetri kalibreerimise konstant diislikütuse puhul oli $0,008176 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ning Neste Pro Diesel mõõtmiste puhul $0,008809 \text{ mm}^2/\text{s}^2$.

Kütuste voolamiseks kulunud aeg mõõdeti stopperiga OAKTON. Temperatuur hoiti konstantsena 40 °C juures Julabo termostaadis (joonis 4.2.). Joonisel 4.2 on viskosimeeter Cannon-Fenske Routine.



Joonis 4.2. Viskosimeeter Cannon-Fenske Routine. [24]

Diislikütuse kinemaatiline viskoossus ν arvutati läbivoolu aja ja viskosimeetri konstandi C abil kasutades võrrandit:

$$\nu = C \times t \quad (4.2.)$$

kus ν - on kinemaatiline viskoossus mm^2/s kohta;

C - viskosimeetri kalibreerimise konstant;

t - kütuse läbivoolu aeg kapillaarviskosimeetris märgist märgini, s.

Tulemus:

1. Diislikütuse kinemaatiline viskoossus : $\nu = t * C = 433,667 * 0,008176 = 3,546 \text{ mm}^2/\text{s}$
2. Neste Pro Diesel kinemaatiline viskoossus: $\nu = t * C = 366,333 * 0,008809 = 3,227 \text{ mm}^2/\text{s}$

4.1.4. Leekpunkt

Leekpunkt on põleva aine madalaim temperatuur, mille juures aurud segus õhuga plahvatavad leegi juurdeviimisel ümbritseval baromeetrilisel rõhul, aga aurude moodustumise kiirus ei ole veel piisav vedeliku enda põlema süttimiseks. Leekpunkt iseloomustab üksnes kütuse tuleohtlikkust. Kui kütuse leekpunkt on madalam standardis nõutust, siis võib eeldada ka kergete fraktsioonide kõrget sisaldust või bensiini sattumist diislikütusesse.

Leekpunkt määrati Pensky-Martens suletud testris järgides EN ISO 2719 nõudeid [25].

Tulemus:

1. Leekpunkt diislikütuse puhul 62°C ;
2. Leekpunkt Neste ProDiesel puhul $55,5^\circ\text{C}$.

4.1.5. Hägustumispunkt

Hägustumispunkt on temperatuur, mille juures kütuses sisalduvad parafiinid hakkavad välja sadenema. Hägustumispunkt iseloomustab diislikütuse kasutavust madalal temperatuuril. Suvises diislikütuses on rakseid parafiine rohkem ja seetõttu on hägustumispunktid kõrgemad ja normitud max -5°C . Talvisest diislikütusest on rasked fraktsioonid eemaldatud, et külmakindlus oleks tagatud. Talvise diislikütuse hägustumispunkt võib olla maksimaalselt -16°C .

Hägustumispunkt määrati EN 23015 metoodika järgi. [26]

Tulemus:

Diislikütus: -5°C ;

Neste Pro Diesel: -15°C .

4.1.6. Korrosiivne toime Cu-plaadi katsel

Vaskplaadikatsel abil tuvastatakse, et kütus ei sisaldaks ühendeid, mis võiksid korrodeerida mahuteid, pumpasid ning auto paaki ja toitesüsteemi. Metallide intensiivse korrosiooni põhjustavad eelkõige aktiivsed väävliühendid (vesiniksulfiid, merkaptaanid) või sisaldab kütus mineraalseid happeid või aluseid.

Korrosiivustest teostati EN ISO 2160 järgi vaskplaati kasutades. [27] Diislikütus ja Pro Diesel läbisid mõlemad klass 1a, mis näitas, et mootorikütuste korrosiivne toime Cu-plaadile oli normi piires.

4.1.7. Veesisaldus Karl Fischer tiitrimisega

Keemiliselt seotud veesisaldus määrati Karl Fischer kulonomeetrilise tiitrimise teel tekkiva reagenti meetodil EN ISO 12937 järgi [28]. Selle meetodi järgi genereeritakse vajalik jood elektrokeemiliselt ja tema hulka mõõdetakse vooluhulga kaudu.

Kasutati Mettler-Toledo C20 Coulomatic KF Titraatorit.

Titraator koosneb kahest Pt-elektroodist, generaatorseadmistikust ja magnetsegajast (joonis 4.3.)



Joonis 4.3. Mettler Toledo Kulonomeetriline Karl Fischer Titraator C20.

Instrument on disainitud kulonomeetriliselt joodi genereerima nii, et jood reageerib stõhhiomeetriliselt veega, mis sisaldub proovilahuses. Mõõterakk on osaliselt täidetud

proovi lahustava ja reagente sisaldava anolüüdiga - HYDRANAL R-Coulomat Oil ja generaator elektrood on täidetud katolüüdiga *HYDRANAL R- Coulomat CG Oil*. Jood reaktsiooni tarvis sünteesitakse generaatorelektroodil kulonomeetriliselt jodiidioonist peale proovi lisamist süstlaga läbi septumi reaktsiooninõusse. Joodi tekkeks kulunud vooluhulk vastab proportsionaalselt tiitrimisnõus olevale veehulgale. Seda, kui palju on vaja tekitada joodi, jälgib seade indikaatorelektroodi abil voltamperomeetriliselt. Indikaatorelektroodi otstele rakendatakse teatava tugevusega vahelduvvool, mistõttu tekib elektrootide vahel potentsiaalide vahe. See potentsiaalide vahe langeb oluliselt, kui lahuses esineb kasvõi minimaalne kogus vaba joodi. Kui see on juhtunud, siis seade lõpetab joodi tootmise ja loeb selle tiitrimise lõpp-punktiks.

Tiitritud vee kogus arvutatakse seadmes Faraday elektrolüüsi seaduse alusel

(4.3.)

$$m = \frac{M \times Q}{z \times F}$$

kus m on elektrolüüdil eraldunud aine mass, μg

Q on süsteemi läbinud laengu hulk,

M on aine molaarmass,

z on ülekantud elektronide arv,

F on Faraday arv 96485 C/mol^{-1} .

Seade arvutab vee koguse ja annab automaatselt mg/kg , ppm või massi\% -des.

Süstlaga sisse süstitav diislikütuse kogus oli $3,3605 \text{ g}$ ja veesisalduseks saadi 15 mg/kg .

Neste Pro Diesel süstitav kogus oli $2,7405 \text{ g}$ ja veesisalduseks saadi 19 mg/kg kohta.

4.1.8. Tsetaaniindeksi arvutamine

Tsetaaniindeks on arvutuslik näitaja, mis leitakse teades kütuse tihedust ja fraktsioonkoostist järgmise valemi järgi:

$$CI = 45,2 + 0,0892T_{10} + (0,131 + 0,901B)T_{50N} + (0,00523 - 0,42B)T_{90N} + 0,00049(T_{10N^2} - T_{90N^2}) + 107B + 60B^2 \quad (4.5)$$

kus $T_{10N} = T_{10} - 215$;

$T_{50N} = T_{50} - 260$;

$T_{90N} = T_{90} - 310$;

T_{10} – destillatsioonil 10% kondenseerunud mahu temperatuur °C;

T_{50} – destillatsioonil 50% kondenseerunud mahu temperatuur °C;

T_{90} – destillatsioonil 90% kondenseerunud mahu temperatuur °C;

$B = [\exp(-0,0035 D_N)] - 1$;

$D_N = D - 850$;

D – tihedus 15 °C juures.

Reaalselt kasutatakse ja kasutati ka antud proovi puhul arvutiprogrammi ja tulemused olid:

1) Diislikütus: 54,7;

2) Neste ProDiesel: 57,2.

4.2. Katsetulemuste arutelu

Kütuselaboris viidi läbi mõõtmised kahe erineva diislikütusega. Esimeseks katseobjektiks oli tavaline fossiilne diislikütus ning teiseks katseobjektiks Neste tanklaketis müügil olev diislikütus, mis sisaldab vähemalt 15% taastuvtoorainest toodetud uue põlvkonna biokomponenti HVO. Tabelis 4.3 on välja toodud kõik saadud katsetulemused ning ka kütuseparameetrite nõuded ning katsemeetodid standardi EVS-EN 590:2013+NA:2017 järgi. Katsetulemustest võib järeldada, et mõlemad kütused vastavad Eesti Vabariigis esitatud standardis EVS-EN 590 esitatud suvediislikütuse kvaliteedinõuetele.

Tabel 4.3. Katsekütuste katsetulemused

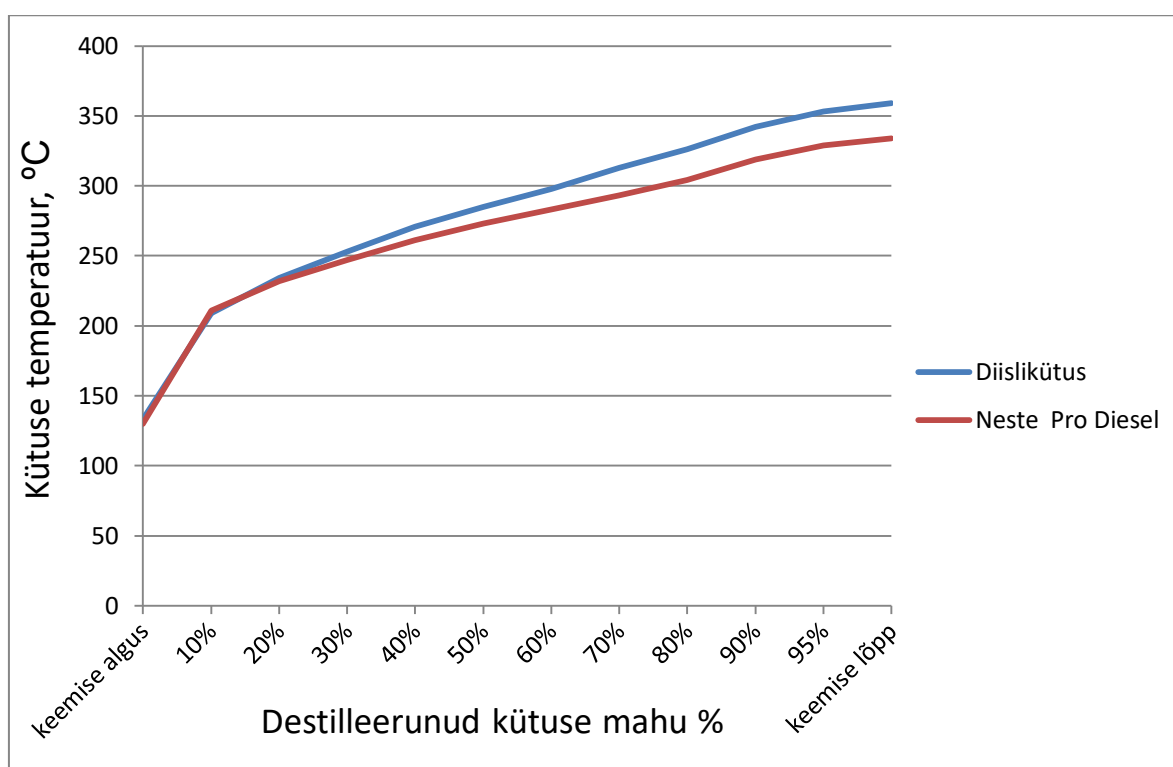
				ProDiesel	DK
Jrk. Nr.	Näitaja	Nõue*	Mõõtühik	Katsemeetod	Tulemus
1	Tihedus temperatuuril 15 °C	800...845	kg/m ³	EN ISO 12185	826,6
2	Tsetaaniindeks	min 46,0		EN ISO 4264	57,2
3	Välimus	selge ja läbipaistev	visuaalne	ASTM D 4860	selge ja läbipaistev
4	Fraktsioonkoostis			EN ISO 3405	
	keemise algus		°C		130
					133

					ProDiesel	DK
Jrk. Nr.	Näitaja	Nõue*	Mõõtühik	Katsemeetod	Tulemus	Tulemus
	10 mahu% aurustunud		°C		211	209
	20 mahu% aurustunud		°C		232	234
	30 mahu% aurustunud		°C		247	253
	40 mahu% aurustunud		°C		261	271
	50 mahu% aurustunud		°C		273	285
	60 mahu% aurustunud		°C		283	298
	70 mahu% aurustunud		°C		293	313
	80 mahu% aurustunud		°C		304	326
	90 mahu% aurustunud		°C		319	342
	95 mahu% aurustunud	max 360	°C		329	353
	Temperatuuril 180 °C destilleerunud osa	max 10	mahu %		4	4
	Temperatuuril 250 °C destilleerunud osa	ei normita	mahu %		32	28
	Temperatuuril 340 °C destilleerunud osa	min 95	mahu %		-	89
	Temperatuuril 350 °C destilleerunud osa		mahu %		-	94
	Keemise lõpptemperatuur		°C		334	359
	Destilleerus		mahu %		98	98
	Destillatsioonijääk	2	mahu %		1,7	1,9
	Kaod		mahu %		0,3	0,1
	Destilleerub 350 °C juures:	min 85	mahu %		-	94
	95 mahu % destilleerub temperatuuril	max 360	°C		329	353
5	Viskoossus temperatuuril 40 °C	2,00...4,50	mm ² /s	EN ISO 3104	3,227	3,546
6	Leekpunkt	üle 55	°C	EN ISO 2719	55,5	62

				ProDiesel	DK
Jrk. Nr.	Näitaja	Nõue*	Mõõtühik	Katsemeetod	Tulemus
7	Vaba vesi, tahked osised	puuduvad		visuaalne	puuduvad
8	Veesisaldus	max 200	mg/kg	EN ISO 12937	19
9	Hägustumispunkt	max -5	°C	EN 23015	-15
10	Korrosiivsus vaskpladikatsel	klass 1		EN ISO 2160	1a

*- Nõuded esitatud suvisele diislikütusele EVS-EN 590:2013+NA:2017

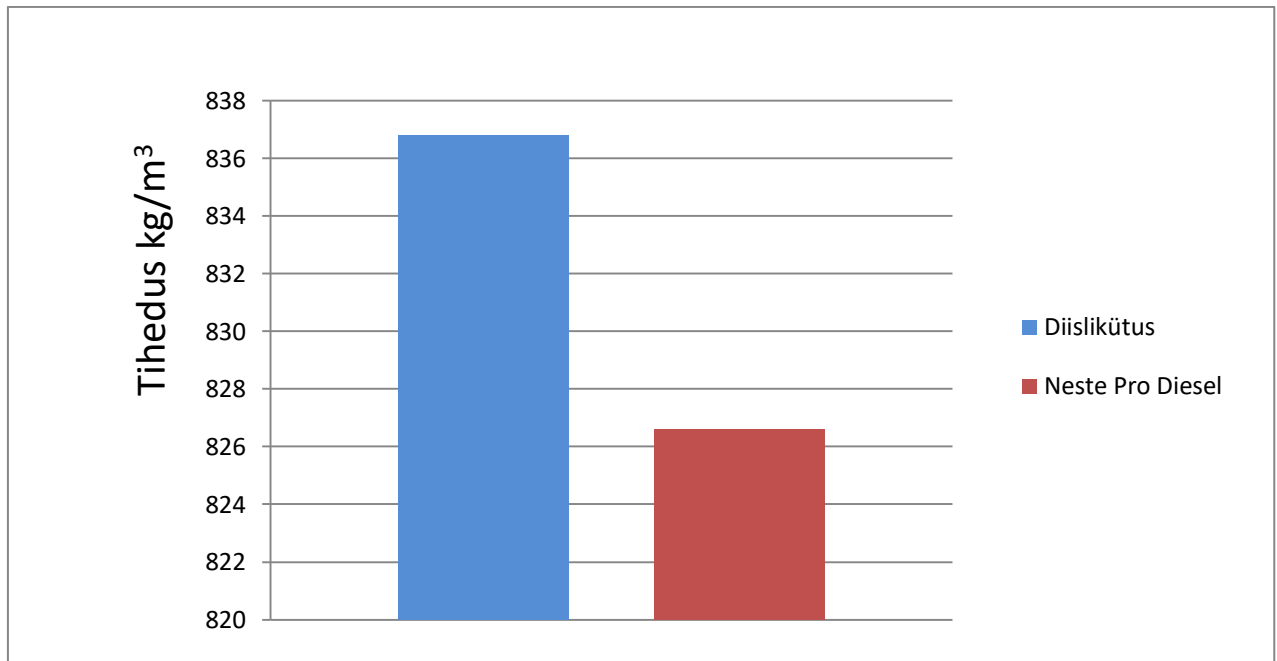
Joonisel 4.4. on välja toodud diislikütuse ja Neste Pro Diesel fraktsioonkoostise võrdlus. Jooniselt on näha, et keemise alguses erist erinevust pole, kuid keemise lõpptemperatuuril on erinevus märgatav. Antud graafiku järgi võib järeldada, et Neste Pro Diesel, mis on madalamate destillatsioonitemperatuuridega, põleb täielikumalt. Kütuse täielikum põlemine tagab väiksema kahjulike heitgaaside hulga eraldumise väliskeskkonda.



Joonis 4.4. Diislikütuse ja Neste Pro Diesel fraktsioonkoostise võrdlus.

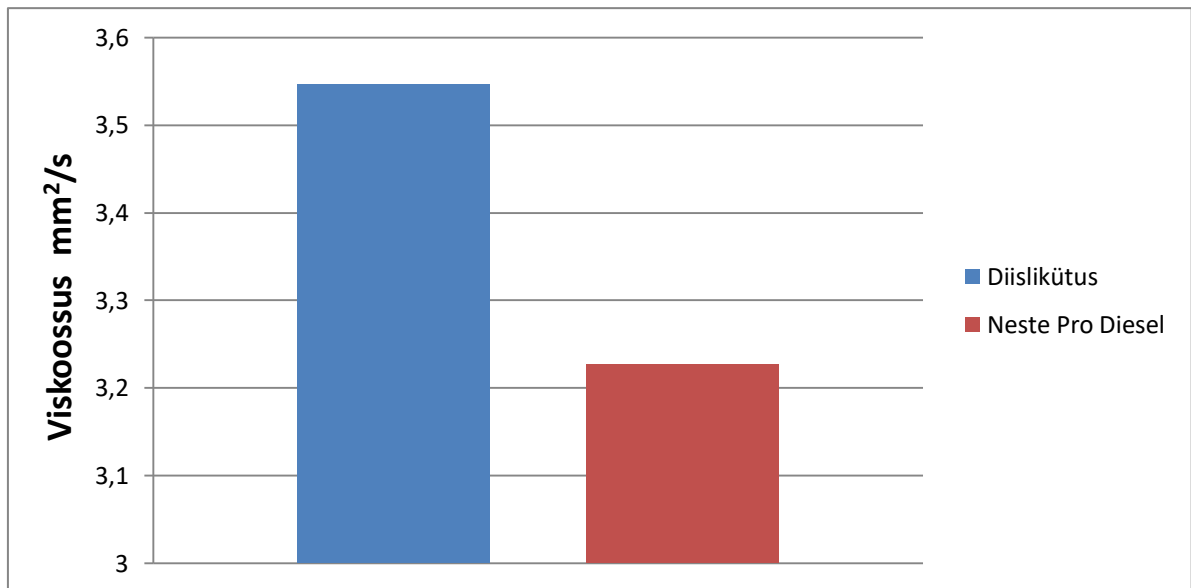
Joonis 4.5. on näha mõlema kütuse tihedusi 15°C juures. Mõlemad tihedused vastavad standardi nõuetele. Tihedus on oluline kütuse väljundparameetrite hindamiseks. Mida

kõrgem on kütuse tihedus, seda suurem on kütuse tilkade läbimõõt ning väheneb kütuse täielik põlemine. Sellega suureneb mootori kütusekulu ja kasvab heitgaaside suitsus. Fossiilse diislikütuse tihedus on kõrgem kui taastuvkomponenti sisaldaval Neste Pro Diesel kütusel ning võib järeldada, et Neste Pro Diesel kütuse kasutamisel peab olema väike erinevus kütuse kulus ning ka suitsusus peaks antud diislikütuse kasutamisel vähenema.



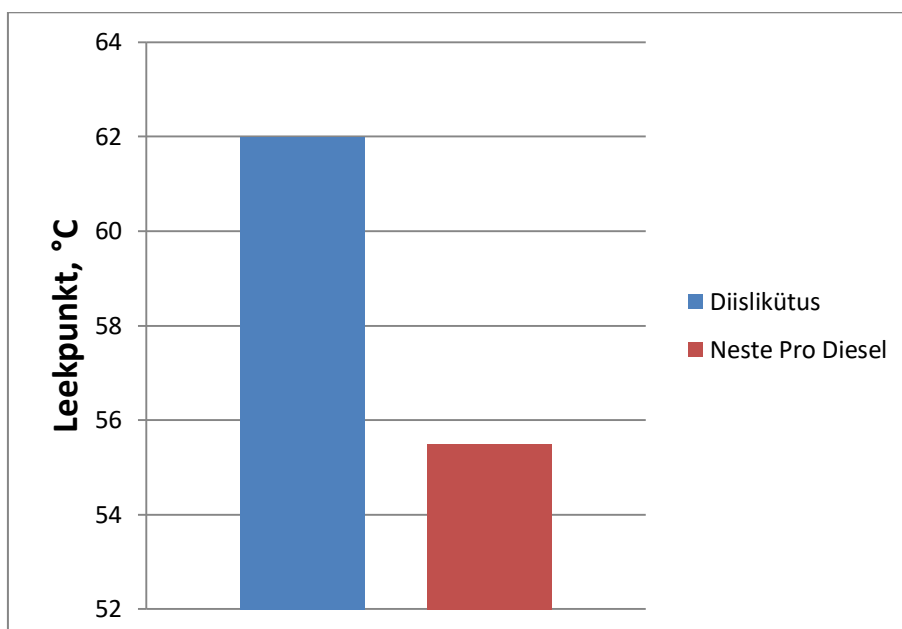
Joonis 4.5. Diislikütuste tiheduse võrdlus.

Joonisel 4.6 on võrreldud kütuste viskoossuseid. Kütuse viskoossused on mõõdetud standardi järgi 40°C juures. Neste Pro Diesel taastuvkomponenti sisaldava kütuse puhul on viskoossus madalam. Viskoossusest nagu ka tihedusest sõltub kütuse leegi vorm ja ehitus, moodustuvate tilkade mõõtmed ning kütuse sissepritse kaugus põlemiskambris. Antud joonise järgi võib järeldada, et Neste Pro Diesel kütuse puhul toimub kütuse täielikum põlemine, kuna tema viskoossus on madalam, mida on näha ka fraktsioonkoostise katsetulemustest.



Joonis 4.6. Diislikütuse ja Neste Pro Diesel viskoossused.

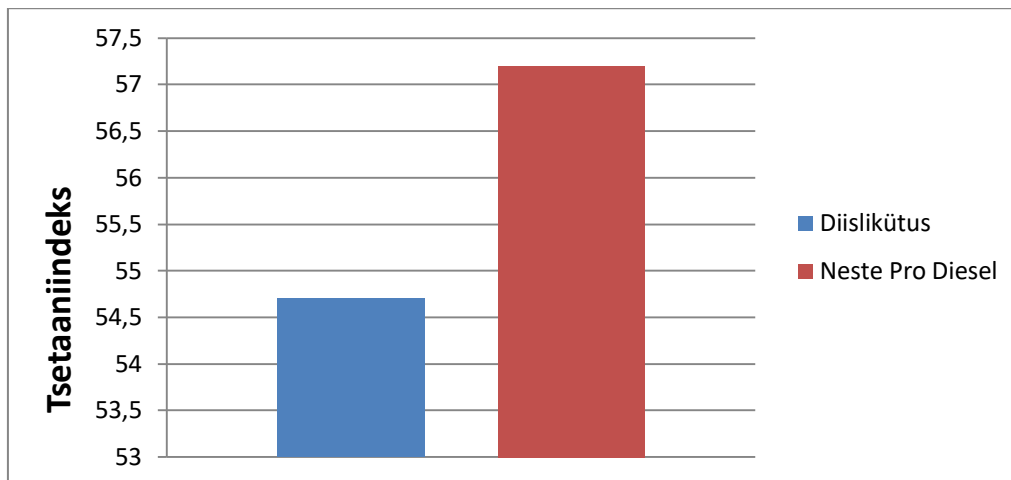
Joonisel 4.7 on kujutatud kütuste leekpunktid. Mõlema kütuse puhul vastavad leekpunkti parameetri väärtused ettenähtud standardi nõutele. Diislikütuse puhul on leekpunkt kõrgem kui Neste Pro Diesel kütuse puhul. Neste Pro Diesel sisaldab madalate keemistemperatuuridega fraktsioone, seega on ka leekpunkt madalam.



Joonis 4.7. Diislikütuse ja Neste Pro Diesel leekpunktid.

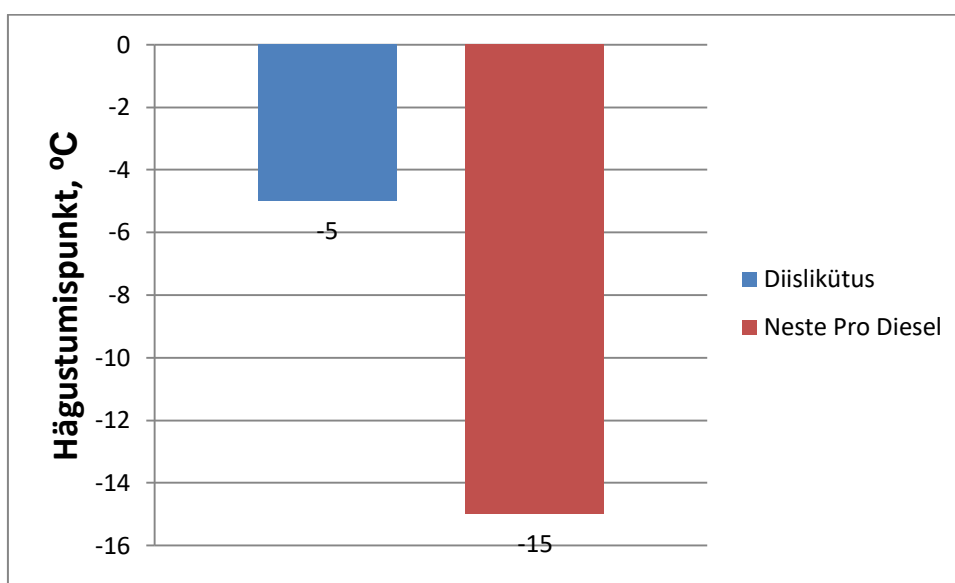
Joonisel 4.8 on kujutatud fossiilse diislikütuse ja taastuvkomponenti HVO sisaldava Neste Pro Diesel tiheduse ja fraktsioonkoostise järgi välja arvutatud tsetaaniindeksid. Mõlema

kütuse puhul vastab tsetaaniindeks standardile, milleks peab olema minimaalseks tsetaaniindeksiks 46. Mõlemad kütused tagavad diiselmootori sujuva töö, kuid Neste Pro Diesel puhul võib mootor käivituda paremini ning töötada vaiksemalt kui fossiilse diislikütuse puhul.



Joonis 4.8. Diislikütuse ja Neste Pro Diesel tsetaaniindeksid.

Joonisel 4.9 on kujutatud kütuste hägustumispunktid. Mõlemad kütused vastavad standardi nõuetele. Erinevus on hägustumispunktidel suur, kuid mõlemad kütused on suvised. Suvise diislikütuse puhul peab Eesti Vabariigis kehtiva standardi järgi hägustumispunkt olema vähemalt -5°C . Neste ProDiesel kütust saab kasutada lisaks suvisele ajale madalamatel temperatuuridel st suviselt kütuselt talvisele üleminekuperioodil.



Joonis 4.9. Diislikütuse ja Neste Pro Diesel hägustumispunktid.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgi saavutamiseks sooritati kütuselaboris katsed kahe diislikütusega ning leiti nende parameetrid. Laborikatsete tulemustest leiti erinevaid seoseid diislikütuste kütuseparameetrite vahel. Võib järeldada, et mida madalam on kütuse tihedus, seda madalamad on ka destillatsiooni temperatuurid, seda on näha HVO komponenti sisaldavast diislikütuse leitud parameetritest. Edasi oli seost näha ka leekpunkti katsel. Madalama destillatsiooni lõpptemperatuuriga Neste ProDiesel oli ka leekpunkti temperatuur madalam kui fossiilsel diislikütusel.

Tsetaaniindeks oli Neste taastuvkomponendiga diislikütusel kõrgem, mis näitab, et antud kütusega peaks auto mootor töötama vaiksemalt ning käivituma paremini kui fossiilse diislikütusega. Tsetaaniindeks oli ProDiesel kütusel 57,2, diislikütusel 54,7.

Neste ProDiesel oli paremate külmakindluse omadustega, sest tema hägustumispunkt oli madalama temperatuuriga kui fossiilsel diislikütusel. Erinevus oli $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, mis tagab HVO biokomponenti sisaldavale kütusele madalamatel temperatuuridel parema kasutamise võimaluse. Erinevus on tegelikult suur, sest mõlemad uuritud kütused on suvediislikütused, kuid HVOd sisaldavat kütust on hea kasutada suviselt kütuselt talvisele kütusele üleminekuperioodil.

Antud lõputöös uuriti ka veesisaldust kütuses, kasutades Karl Fischer kulonomeetrilise tiitrimise meetodit. Selgus, et mõlema kütuse veesisaldused jäid normi piiridesse, diislikütusel 15 mg/kg ja ProDiesel 19 mg/kg.

Katsetusel saadud diislikütuste leitud parameetrite järgi võib kütuste kvaliteeti hinnata heaks. Kõik parameetrid nii fossiilse diislikütuse kui ka Neste ProDiesel puhul jäid standardis esitatud nõuete piiridesse. Eespool analüüsitud tulemuste alusel võib järeldada, et kütuseparameetrite poolest on uue põlvkonna Neste ProDiesel paremate omadustega, kui puhas fossiilne diislikütus. Kirjanduse põhjal oli teada, et Neste Pro Diesel on ainuke diiselmootorikütus maailmas, mis vastab Ülemaailmse Kütuseharta (*World Wide Fuel Charter*) rangeima, 5. kategooria nõuetele. Kõik katsetustes saadud tulemused kinnitasid seda: tsetaaniindeks >55 , fraktsioonkoostise T90 mahu% ja T95 mahu%: $319\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $329\text{ }^{\circ}\text{C}$ on täidetud (nõuded vastavalt $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $340\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Tulevikus oleks võimalik antud lõputööd edasi arendada mootorilaboris tehtavate katsetega ning võrrelda mootori väljundparameetreid erinevaid kütuseid kasutades.

SUMMARY

To achieve the aim of the graduation thesis two different diesel fuels were tested in fuel laboratory to find their parameters. From the results there were different connections found between the parameters. It can be concluded that the lower is the density of diesel fuel, the lower are the temperatures of distillation. This can be seen from the results of the diesel fuel containing the biocomponent HVO. Further in the flash point analysis it could be seen that the Neste Pro Diesel fuel that was containing the biocomponent, had a lower flash point temperature due to lower distillation temperatures than the fossil diesel.

The cetane index was higher in the Neste Pro Diesel and by this we can conclude that by using this fuel in the engine, the engine should be running quieter and it should start up smoother than with the fossil diesel. The cetane index of Neste ProDiesel was 57,2 and the cetane index of fossil diesel was 54,7.

The analysis of blur point showed that the difference was by -10 degrees Celsius between the two analysed diesel fuels. Both, the fossil diesel and the Neste ProDiesel were meant to be used in summer. The blur point of fossil diesel was at -5°C at the same time the Neste Pro Diesel's blur point was at -16°C. Neste ProDiesel is better to use in the start of the winter season than the fossil diesel.

In this thesis there was also analyse for the water containment in fuel using Karl Fischer's coulometric titration method and none of the both fuels exceeded the required limits. The containment of water in fossil diesel was 15 mg/kg and in Neste ProDiesel it was 19 mg/kg.

After the experiments made with both diesel fuels it can be concluded, that both fuels are good quality fuels. None of the found parameters exceeded the limits determined by the standard. It can still be concluded that the biodiesel containing the second generation of biocomponent called HVO is better by its properties than fossil diesel. Based on the literature, it was known that Neste ProDiesel is the only diesel fuel in the world that meets the most strictest category 5 requirements of the World Wide Fuel Charter. All the results of the experiments confirmed that the fuel containing second generation biocomponent HVO meets all the requirements determined in the WWFC.

In the future there could be tests made in the engine laboratory to compare the impact to the engine output parameters by using these two different diesel fuels.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Euroopa Liidu Teataja. 2009. EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV 2009/30/EÜ. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX:32009L0030> (21.05.18)
2. Keskkonnaülevaade. 2013. Ilmastik ja kliimamuutused. http://www.keskkonnainfo.ee/failid/ky_2013_pt3.pdf (14.05.18)
3. Keskkonnaministeeriumi kodulehekül. 2018. Kliimapoliitika põhialused aastani 2050. <http://www.envir.ee/et/eesmargid-tegevused/kliima/kliimapoliitika-pohialused-aastani-2050-0> (08.05.18)
4. Eestimaa Looduse Fond. (2017). Mis on fossiilsed kütused? Tartu. <http://www.kliimamuutused.ee/kliimamuutuste-kkk/fossiilsed-kutused> (04.04.2018)
5. Koha, E., Pikner, A. (1988). Kütused ja määrdeained – 2., ümbertöötatud trükk. Tallinn. 160 lk.
6. Velling, S. Vaasma, T. (2013). Energiaallikas biomass. Tartu: Tartu Ülikool. <https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/30198/index.html> (04.04.18)
7. Kask, Ü. (2013). Biodiislikütuse tootmise ja kasutamise võimalused Eestis. Tallinn: Tallina Tehnikaülikool. [https://energiatalgud.ee/img_auth.php/c/c3/Kask%2C%20Y.%20Biodiislikutuse tootmise ja kasutamise võimalused Eestis.pdf](https://energiatalgud.ee/img_auth.php/c/c3/Kask%2C%20Y.%20Biodiislikutuse%20tootmise%20ja%20kasutamise%20v%20imalused%20Eestis.pdf) (04.04.18)
8. Vedelikütused. (2017). Mootorikütused. Diislikütus. Nõuded ja katsemeetodid: Eesti standard EVS-EN 590: 2013/NA:2017. Tallinn: Eesti standardikeskus. [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-590-2013-na-2017> (05.05.18)
9. Vedelikütuste kohta esitatavad keskkonnanõuded, biokütuste säästlikkuse kriteeriumid, vedelikütuste keskkonnanõuetele vastavuse seire ja aruandmise kord ning biokütuste ja vedelate biokütuste kasutamisest tuleneva kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemise määramise meetodika. (vastu võetud 21.06.2013, viimati jõustunud 14.10.2017). – Riigiteataja: <https://www.riigiteataja.ee/akt/111102017003> (20.05.18)
10. Biokütused. (2014). Vedelad naftasaadused. Rasvhapete metüülestrid (FAME) diiselmootoritele või kütteseadmetele. Nõuded ja katsemeetodid: Eesti standard EVS-EN 14214:2012+A1:2014. Tallinn: Eesti standardikeskus. [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-14214-2012+a1-2014> (05.05.18)
11. IMO (2015). Prevention of Air Pollution from Ships. <http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx> (01.05.2018)
12. Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 94/25/EÜ, 16. juuni 1994., väikelaevu käsitlevate liikmesriikide õigus- ja haldusnormide ühtlustamise kohta.

13. Euroopa Parlamendi ja nõukogu 16. detsembri 1997. aasta *direktiiv 97/68/EÜ* (väljaspool teid kasutatavatele liikurmasinadele paigaldatavate sise põlemismootorite heitgaaside ja tahkete heitmete vähendamise meetmeid käsitlevate liikmesriikide õigusaktide ühtlustamise kohta)
14. ACCELERISTA. (2018). Puust ja punaseks: mis on biokütus ja kuidas mõjub selle kasutamine autole? <https://www.accelerista.com/abc/autoomaniku-abc/biokutus-kasutamine/> (04.05.18)
15. Maksu- ja Tolliamet. (2017). Eriotstarbelise diislikütuse kasutamine. Tallinn. <https://www.emta.ee/et/ariklient/aktsiisid-vara-hasartmang/kutus-ja-elektrienergia/eriotstarbelise-diislikutuse-kasutamine> (10.05.18)
16. Marquard & Bahls (2015). *Marine Diesel Oil (MDO) & Intermediate Fuel Oil (IFO)*. <https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/marine-diesel-oil-mdo.html> (04.05.18)
17. Marquard & Bahls (2015). *Marine Gasoil (MGO)*. <https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/marine-gasoil-mgo.html> (04.05.18)
18. Neste Corporation. 2016. *Neste Renewable Diesel Handbook*. Espoo. https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf (15.04.18)
19. Neste. Neste Pro Diesel – tõestatult maailma parim! <https://www.neste.ee/ee/prodiesel> (04.05.18)
20. BioOil. Biodiisel. Võrumaa: BioOil OÜ. <http://biooil.ee/biodiisel/> (06.05.18)
21. Naftasaadused üldiselt. 2006. Toornafta ja vedelad naftaproduktid. Laboratoorne tiheduse määramine. Areomeetriline meetod (ISO 3675:1998): EVS-EN ISO 3675:2006. Tallinn: Eesti standardikeskus [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-3675-2006> (07.05.18)
22. Naftasaadused üldiselt. 2011. Petroleum products – Determination of distillation characteristics at atmospheric pressure (ISO 3405:2011): EVS-EN ISO 3405:2011. Tallinn: Eesti standardikeskus [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-3405-2011> (07.05.18)
23. Naftasaadused üldiselt. 2000. Naftasaadused. Läbipaistvad ja läbipaistmatud vedelikud. Kinemaatilise viskoossuse määramine ja dünaamiline viskoossuse arvutamine: EVS-EN ISO 3104:2000. Tallinn: Eesti standardikeskus [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-3104-2000> (07.05.18)
24. Cannon Instrument Company. *Cannon-Fenske Routine Viscometer*. <https://www.cannoninstrument.com/en/product/manual-glass-viscometers/cannon-fenske-routine-viscometer--CANNON%20CF-Routine%20GV> (09.05.18)
25. Naftasaadused üldiselt. 2016. Determination of flash point – Pensky-Martens closed cup method (ISO 2719:2016): EVS-EN ISO 2719:2016. Tallinn: Eesti standardikeskus [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-2719-2016> (07.05.18)

26. Naftasaadused üldiselt. 2000. Naftasaadused. Hägustumispunkti määramine: EVS-EN 23015:2000. Tallinn: Eesti standardikeskus [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-23015-2000> (07.05.18)
27. Naftasaadused üldiselt. 1998. Petroleum products -- Corrosiveness to copper – Copper strip test: ISO 2160: 1998. Tallinn: Eesti standardikeskus [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/iso-2160-1998> (07.05.18)
28. Naftasaadused üldiselt. 2001. Petroleum products – Determination of water – Coulometric Karl Fischer titration method: EVS-EN ISO 12937: 2001. Tallinn: Eesti standardikeskus [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-12937-2001> (07.05.18)

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning
juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, _____,
(*autori nimi*)

sünniaeg _____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

_____,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on _____,
(*juhendaja(te) nimi*)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)